Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 14, No. 4, Oct- Nov 2018, p. 461-472

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 14، شماره 4، مهر- آبان 1397، ص. 472-461

بهینه‌سازی فرایند رفع انجماد گوشت مرغ چرخ شده توسط روش ترکیبی تشعشع مادون قرمز- هوای گرم با استفاده از روش سطح پاسخ

مینا داودی[1]- مهدی کاشانی‌نژاد[2]*- امان محمد ضیایی‌فر[3]- محمد قربانی[3]

تاریخ دریافت: 1395/12/03
تاریخ پذیرش: 1396/06/23

چکیده

در این پژوهش تاثیر فرایند رفع انجماد با روش ترکیبی تشعشع مادون قرمز– هوای گرم بر خصوصیات کیفی گوشت مرغ چرخ شده مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا گوشت مرغ چرخ شده در فریزر 20- درجه سانتی‌گراد به مدت 5 روز منجمد شد، سپس تاثیر پارامترهای فرایند رفع انجماد شامل توان منبع تابش در دامنه 247/73 w -12/27، دمای هوا در دامنه 49/43 -27/57 درجه سانتی‌گراد و سرعت گردش هوا در دامنه 7/47 m/s -0/21 بر خصوصیات کیفی گوشت مرغ چرخ شده منجمد مورد ارزیابی قرار گرفت و جهت انتخاب شرایط بهینه از روش سطح پاسخ استفاده شد. افزایش توان منبع تابش، دمای هوا و سرعت گردش هوا باعث افزایش سرعت رفع انجماد، ظرفیت نگهداری آب و همچنین کاهش مدت زمان رفع انجماد و افت ناشی از رفع انجماد شد و بر تغییرات رنگ و pH اثر معنی‌داری نداشت (P> 0.05). شرایط بهینه رفع انجماد در توان منبع تابش 247/73 w، دمای هوا 38/97 درجه سانتی‌گراد و سرعت گردش هوای 6/75 m/s به‌دست آمدکه در این شرایط مدت زمان رفع انجماد 4/40min، افت ناشی از رفع انجماد 0/03%، سرعت رفع انجماد 30/127 cm/h، ظرفیت نگهداری آب 88/392%، pH 5/9 و اختلاف رنگ7/94 بود.

واژه‌های کلیدی: خصوصیات کیفی، رفع انجماد، گوشت مرغ چرخ شده، مادون قرمز، هوای گرم

مقدمه

انجماد یکی از روش‌های نگهداری طولانی مدت مواد غذایی است که با توجه به نوع این فرایند اندازه کریستال‌های یخ تشکیل شده در بافت محصول نیز متفاوت می‌باشد و بر خصوصیات کیفی آن تاثیر چشمگیری می‌گذارد. اما بررسی‌ها نشان داده است که تنها فرایند انجماد بر خصوصیات کیفی محصول منجمد موثر نمی‌باشد بلکه نوع فرایند رفع انجماد نیز با توجه به طولانی‌تر بودن مدت زمان آن نسبت به انجماد بر خصوصیات محصول تاثیرگذار است (Icier *et al.*, 2010). به همین علت در سال‌های اخیر روش‌های نوین و کارآمد رفع انجماد به‌طور ویژه مورد توجه قرار گرفته‌اند.

فرایند رفع انجماد شامل سه شکست دمایی می‌باشد که به‌ترتیب شامل مرحله اول، افزایش دمای نمونه منجمد از دمایی که در آن نگهداری شده است به ^{o}C 5-، مرحله دوم، افزایش دما از 5- به صفر درجه سانتی‌گراد و مرحله سوم، افزایش دما از صفر به $30^{o}C$ است. با توجه به این که مرحله دوم بیشترین زمان را در طول فرایند رفع انجماد به‌خود اختصاص می‌دهد هرچه سرعت رفع انجماد در مرحله دوم بیشتر باشد افت ناشی از رفع انجماد کمتر بوده و ارزش تغذیه‌ای محصول بیشتر حفظ می‌شود (Farag *et al.*, 2009). تاکنون مطالعات مختلفی در رابطه با انواع روش‌های رفع انجماد محصولات منجمد با استفاده از تکنولوژی‌های فشار بالا، حرارت اهمی، میدان الکترواستاتیک با ولتاژ بالا و مایکروویو صورت گرفته است که این روش‌ها براساس تولید گرما در محصول عمل می‌کنند (Hong *et al.*, 2009). طی بررسی‌های انجام شده استفاده از تکنولوژی تابشی به‌جای حرارتی برای رفع انجماد با توجه به این که در تابش انتقال حرارت وابسته به محیط مادی نمی‌باشد و همچنین نیاز به تماس مستقیم به محصول ندارد و میزان انرژی مصرفی نیز کم می‌باشد جایگاه بالاتری را در صنعت می‌تواند به‌خوداختصاص دهد. تشعشع مادون قرمز در طیف الکترومغناطیس شامل سه زیر بخش 1) مادون قرمز نزدیک، 2) مادون قرمز متوسط و 3) مادون قرمز دور می‌باشد که این دسته‌بندی بر اساس مبانی ارتعاش ملکول‌ها است. اگرچه توافق کلی روی ابتدا و انتهای مرز هر دسته از انواع امواج وجود ندارد

1، 2 و 3- دانشجوی کارشناسی ارشد، استاد و دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان.
(*مسئول مکاتبات: Email: kashani@gau.ac.ir)
DOI: 10.22067/ifstrj.v1396i0.62792

عموما به‌طور نسبی بیان می‌شوند. امواج مادون قرمـز متوسـط دارای طول موج 1/5-5/6 µm است کـه طیفـی بـین مـادون قرمـز دور و نزدیک را شامل می‌شود و همچنین توسط اکثریت مواد غذایی توانایی جذب آن وجود دارد. این دامنه طول موج مادون قرمز به‌منظـور رفـع انجماد مواد غذایی منجمد استفاده می‌شـود (Pan and Atungulu, 2010) علاوه بر آن تشعشع مادون قرمز تا به امـروز در فراینـدهای مختلفی مانند پختن، برشته کردن (Bagheri *et al*., 2016)، خشک کردن (Salehi *et al*., 2016)، آنزیم‌بری (Aghajanzadeh *et al*., 2016) و سایر موارد مورد بررسی قرار گرفتـه کـه عملکـرد مفیـدی داشته است.

هانگ و همکاران (2009) به منظور رفع انجمـاد گوشـت خـوک منجمد (-18^{oC}) از تشعشع مادون قرمز (در پنج سطح 47، 80، 121، 171 و 229 وات) و سرعت گردش هوا (در سه سـطح صـفر، 3 و 6 متر بر ثانیه) استفاده نمودند. بررسی‌ها نشان داد با افزایش توان منبع تابش و سرعت گردش هوا، افت ناشی از رفع انجماد کاهش و ظرفیت نگهداری آب و نیروی برشی افزایش یافته اسـت. راجـی و همکـاران (2016) اثر دو روش سنتی و صـنعتی رفـع انجمـاد را روی تغییـرات ترکیبات مغذی نوعی سوپ نیجریـه منجمـد شـده در دمـای -20^{oC} بررسی نمودند. در این پـژوهش روش سـنتی مـورد اسـتفاده آب داغ (100^{oC}) و هوا با دمای $28\text{-}32^{oC}$ و روش صنعتی مایکروویو با تـوان 450 وات بوده است. رفع انجماد بـا مـایکروویو نسـبت بـه دو روش سنتی دیگر کمترین تاثیر منفی را در ترکیبات سوپ شـامل کلسـیم، سدیم، پتاسیم، فسفر، خاکستر به همراه داشته است. همچنین میـزان رطوبت و ویتامین (A, B, E) سوپ رفع انجماد شـده نسـبت نمونـه کنترل اختلاف معنی‌داری نداشته است. استفاده از روش مایکروویو در این پژوهش سبب افزایش دناتوره شدن پروتئین در طول فرایند رفـع انجماد شده است. بونسومر و همکاران (2007)، میگو[1] تـازه را بـه دو روش فریزر -28^{oC} (با سطوح مختلف سرعت گردش هوای 4، 6 و 8 متر بر ثانیه) و ازت مایع (-70، -80، -90، -100 ^{oC}) منجمد کردند. سپس تاثیر دو روش رفع انجماد با مایکروویو و یخچـال (4^{oC}) را بـر خصوصیات میگوی منجمد بررسی نمودند. روش‌های رفع انجماد مورد استفاده در این پژوهش سبب افزایش میـزان نیـروی برشـی و عـدد تیوباربیتوریک اسید و کاهش در صد پروتئین‌های محلول در نمک در میگو شد. طاهر و همکاران (2001) گوشت گاو چرخ شده منجمـد در فریزر -20^{oC} را به روش مایکروویو بـا تـوان 650 وات رفـع انجمـاد نمودند. هدف آن‌ها یافتن مدل پیش‌بینی تغییرات دمای نمونه منجمد از هنگام انجماد تا رفع انجماد کامل در سطوح مختلف ضخامت بوده است. بررسی آن‌ها نشان داد رفع انجماد با مایکروویو از سطح شروع شده و بشدت آرام پیش‌روی دارد. زمانی که بخش اعظم نمونه منجمد رفع انجماد شد به‌طور ناگهانی افزایش دما اتفاق می‌افتد این افـزایش سریع دما تـا مـرز پخـت محصـول پـیش مـی‌رود. طبـق داده‌هـای اندازه‌گیری شده و پیش بینی شده به منظور رفع انجماد گوشت گـاو توسط مایکروویو، دمای سطح نباید از 10^{oC} بیشـتر شـود. همچنـین زمان مورد نیاز به‌منظور رفع انجماد با این روش نسبت به روش‌های سنتی یک پنجم بوده اما کنترل شـرایط در ایـن روش رفـع انجمـاد سخت بوده است. کامپـانون و همکـاران (2010) تـاثیر فراینـد رفـع انجماد با مایکروویو و یخچال (4^{oC})را بر گوشت گـاو منجمـد مـورد ارزیابی قـرار دادنـد. طبـق بررسـی‌هـا بـه علـت تفـاوت در خـواص دی‌الکتریک آب و یخ میزان جـذب امـواج مـایکروویو توسـط آن‌هـا مختلف می‌باشد. به همین علت در طول رفع انجمـاد بـا مـایکروویو محصول دچار حرارت‌دهی بیش از حد می‌شـود. طبـق گـزارش آنهـا به‌منظور تفسیر و بررسی داده‌های انتقال حرارت و جرم بهترین روش حل عددی کرنک- نلسون بوده است. این روش کمترین خطـا را بـا داده‌های آزمایشگاهی داشته است. فاراگ وهمکاران (2009) اسـتفاده از امواج رادیویی برای رفع انجماد گوشت گاو منجمـد شـده را مـورد بررسی قرار دادند. طی این روش افت ناشی از رفـع انجمـاد و زمـان فرایند کاهش و ظرفیت نگهـداری آب درون سـلولی افـزایش یافتـه است. همچنین در این راستا فاراگ و همکاران (2011) میزان توزیـع یک‌نواختی دما در هنگام رفع انجماد از طریق امواج رادیویی در تمامی قسمت‌های قطعه گوشت گاو مورد نظر را بررسی کردند. بـا افـرایش فرکانس امواج رادیویی عدم یکنـواختی در افـزایش دمـا را مـی‌تـوان جلوگیری نمود اما پخت محصول نیز اتفاق می‌افتد همچنین پـس از این روش محصول مجدد قابلیت نگهداری طولانی مدت بـه‌صـورت منجمد ندارد و باید مصرف شود.

از آنجایی کـه تـاکنون پژوهشـی در خصـوص اسـتفاده از روش ترکیبی تشعشع مادون قرمز- هوای گرم بر رفع انجمـاد محصـولات غذایی صـورت نگرفتـه و عملکـرد تشعشـع مـادون قرمـز در سـایر فرایندهای صنایع غذایی مفید بوده است، و از طرف دیگر روش‌هـای تجاری که در حال حاضر در صنعت استفاده می‌شوند، باعث تغییـرات نامطلوبی در محصول نهایی مـی‌شـوند اسـتفاده از روش‌هـای نـوین به‌منظور بهبود کیفیت محصولات در حین فرآیند رفع انجماد ضروری است. از این‌رو در این پژوهش سعی گردید فرایند رفع انجماد گوشـت مرغ چرخ شده توسط روش ترکیبی تشعشع مادون قرمز- هوای گـرم با روش سطح پاسخ بهینه گردد و تاثیر آن بر مدت زمان رفع انجماد، افت ناشی از رفع انجماد، سرعت رفع انجماد، ظرفیت نگهـداری آب، pH و رنگ محصول مورد بررسی قرار گیرد.

---
1 *Penaeus monodon*

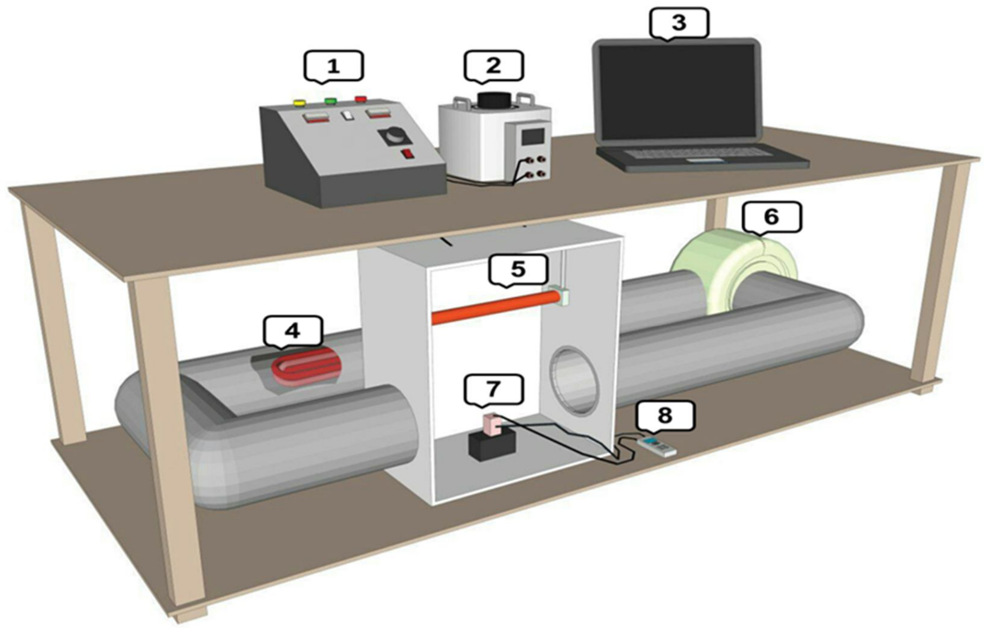
مواد و روش‌ها

آماده‌سازی گوشت مرغ چرخ شده منجمد

گوشت مرغ تازه از بازار محلی گرگان تهیه شد و در شرایط یکسان پوست‌گیری و استخوان‌گیری شد. سپس توسط چرخ گوشت (کنوود، انگلستان) با قطر سه میلی‌متر چرخ و در قالبی به ابعاد 3×3×5 سانتی‌متر مکعب قالب‌گیری شد. به‌منظور اندازه‌گیری دما در طول فرایند ترموکوپل قبل از انجماد نمونه در وسط آن قرار داده و سپس به مدت 5 روز در فریزر (whirpool، چین) در دمای ^{o}C20- نگهداری شد.

سامانه رفع انجماد ترکیبی تشعشع مادون قرمز- هوای گرم

برای رفع انجماد نمونه‌های منجمد از دستگاه ترکیبی تشعشع مادون قرمز- هوای گرم استفاده گردید. این سیستم شامل فن گردش هوا، لامپ مادون قرمز (Far infrared 1000 w) و چهار المنت الکتریکی ایجادکننده گرما با توان 750 وات می‌باشد. همچنین این سامانه توانایی کنترل سرعت جریان هوا، توان لامپ مادون قرمز و دمای هوای ورودی را نیز دارا می‌باشد (شکل 1).



شکل 1- شماتیک سامانه رفع انجماد ترکیبی تشعشع مادون قرمز- هوای گرم: 1) تنظیم‌کننده دما و سرعت گردش هوا، 2) وات متر، 3) لپ تاپ، 4) المنت الکتریکی، 5) لامپ مادون قرمز، 6) فن گردش هوا، 7) نمونه و 8) ثبت‌کننده دمای (دیتالاگر)

رفع انجماد گوشت مرغ چرخ شده منجمد

به‌منظور ایجاد شرایط ثابت در اتاقک رفع انجماد دستگاه مادون قرمز- هوای گرم 10 دقیقه قبل از شروع فرایند روشن گردید، سپس گوشت مرغ چرخ شده منجمد در اتاقک رفع انجماد در فاصله 12سانتیمتری لامپ مادون قرمز قرار گرفت. تیمارها در20 آزمایش به روش سطح پاسخ بر اساس طرح مرکب مرکزی شامل 6 تکرار در نقطه مرکزی بود و محدوده متغییرها پس از اجرا با نرم‌افزار Design Expert 10.0.6 شامل توان منبع تابش در دامنه 73/247- 27/12وات، دمای هوا در دامنه 43/49- 57/27 درجه سانتی‌گراد و سرعت گردش هوا در دامنه 47/7- 21/0متر بر ثانیه به‌صورت جدول 1 برای رفع انجماد مورد استفاده قرار گرفت. دمای سطح و مرکز نمونه و دمای محفظه توسط ترموکوپل اندازه‌گیری و در طول فرایند رفع انجماد نیز توسط ثبت‌کننده دما (Thermometer 4 channels TM- 947SD) تا رسیدن دمای مرکز به صفر درجه سانتی‌گراد ثبت شد.

تعیین مدت زمان رفع انجماد

در طول فرایند رفع انجماد به‌منظور اندازه گیری مدت زمان فرایند ترموکوپل را قبل از شروع فرایند در مرکز نمونه قرار داده و مدت زمانی که طول می‌کشد دمای مرکز نمونه به یک درجه سانتی‌گراد برسد ثبت شد (Wang *et al*., 2015).

سرعت رفع انجماد:

به‌منظور بررسی سرعت رفع انجماد (V_t) از نسبت فاصله سطح

گوشت مرغ چرخ شده تا مرکز (L) آن بر مدت زمانی که طول می‌کشد تا دمای مرکز به 1^{oC} (t) برسد طبق معادله 1 استفاده شد (Yu *et al*., 2010).

$$V_t(cm/h)= L(cm/h)/ t (h) \quad (1)$$

جدول 1- مقادیر متغییرها و سطوح آن‌ها در رفع انجماد ترکیبی تشعشع مادون قرمز- هوای گرم

شماره	A(w)	B(°C)	C (m/s)
1	130	27/57	3/84
2	200	32	1/68
3	130	49/43	3/84
4	200	45	1/68
5	130	38/50	3/84
6	130	38/50	3/84
7	247/73	38/50	3/84
8	60	45	6
9	130	38/50	7/47
10	12/27	38/50	3/84
11	60	45	1/68
12	130	38/50	3/84
13	60	32	1/68
14	130	38/50	3/84
15	130	38/50	3/84
16	200	32	6
17	130	38/50	3/84
18	200	45	6
19	130	38/50	0/21
20	60	32	6

افت ناشی از رفع انجماد

افت ناشی از رفع انجماد به‌صورت درصدی از وزن اولیه گوشت مرغ چرخ شده منجمد محاسبه شد. بدین ترتیب که ابتدا قطعه گوشت چرخ شده منجمد وزن شده (m_1)، سپس وزن همان قطعه گوشت پس از رفع انجماد نیز تعیین گردید (m_2). در ادامه برای اندازه‌گیری افت ناشی از رفع انجماد از معادله 2 استفاده شد (Xia *et al*., 2012).

$$\text{افت ناشی از رفع انجماد} = (m_1-m_2)/m_1 \times 100 \quad (2)$$

ظرفیت نگهداری آب

جهت تعیین این شاخص ابتدا میزان رطوبت گوشت مرغ چرخ شده را اندازه گیری کرده و در ادامه 10 گرم از گوشت مرغ چرخ شده پس از رفع انجماد وزن شد و درون یک کاغذ صافی وزن شده پیچیده شد و سپس در داخل یک لوله سانتریفوژ (Hanil، کره)، با دور 3000g، دمای 4^{oC} و مدت زمان 20 دقیقه قرار داده شد. پس از پایان زمان سانتریفیوژ گوشت مرغ چرخ شده و کاغذ صافی جداگانه توزین گردید. به‌منظور اندازه‌گیری این شاخص از معادله 3 استفاده شد (Hsieh *et al*., 2010).

$$\text{ظرفیت نگهداری آب} = (1-(m_1-m_2)/m_1)\times 100 \quad (3)$$

اندازه‌گیری pH

pH گوشت مرغ چرخ شده بلافاصله پس از رفع انجماد تعیین شد. برای محاسبه این شاخص ابتدا 5 گرم گوشت را وزن کرده و به همراه 45 میلی‌لیتر آب مقطر هموژن گشت. سپس توسط pHمتر دیجیتالی (microprocessor، ایتالیا) اندازه‌گیری شد (Chan *et al*., 2011).

ارزیابی رنگ

جهت بررسی رنگ گوشت مرغ چرخ شده رفع انجماد شده از روش پردازش تصویر استفاده شد. نمونه‌ها بلافاصله پس از فرایند با یک دستگاه اسکنر رنگی (Canon, Cano Scan, LiDE 120 Scanner) و با دقت 600DPI اسکن شد. تصاویر با فرمت JPEG و در فضای رنگی RGB ذخیره شدند. سپس با نرم‌افزار Image J software version 1.42e, USA فضای رنگی RGB به a^* b^*

L^* تبدیل گردیدند. بدین ترتیب، مقادیر L^*، a^* و b^* هر یک از تصاویر مربوط به نمونه‌ها محاسبه و میانگین آنها گزارش شدند. به‌منظور ارزیابی تغییرات رنگ هر نمونه پس از فرایند نسبت به قبل از فرایند رفع انجماد از معادله 4 استفاده شد که در این معادله مقادیر a، b وL مربوط به نمونه قبل از فرایند انجماد و رفع انجماد می‌باشد (Salehi *et al*., 2016).

$$(\Delta E)= ((a^* - a)^2 - (b^* - b)^2 - (L^* - L)^2)^{0.5} \qquad (4)$$

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

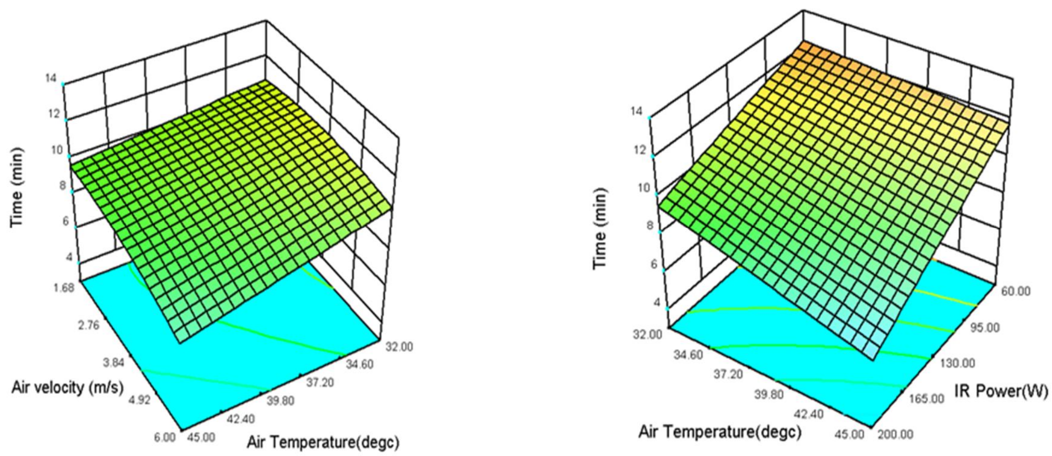
در این پژوهش روش سطح پاسخ در قالب طرح مرکب مرکزی چرخش پذیر برای پیش‌بینی تاثیر متغیرهای فرایند رفع انجماد با روش ترکیبی تشعشع مادون قرمز- هوای گرم بر خصوصیات کیفی گوشت مرغ چرخ شده به‌کار برده شد. تیمارها در 20 آزمایش بر اساس طرح مرکب مرکزی شامل 6 تکرار در نقطه مرکزی چیده شدند. متغییرهای مستقل مورد استفاده شامل توان منبع تابش (در دامنه 247/73- 12/27وات)، دمای هوا (در دامنه 49/43- 27/57 درجه سانتی‌گراد) و سرعت گردش هوا (در دامنه 7/47- 0/21متر بر ثانیه) و پاسخ‌های اندازه‌گیری شده شامل مدت زمان رفع انجماد، افت ناشی از رفع انجماد، سرعت رفع انجماد، ظرفیت نگهداری آب، pH و ارزیابی رنگ بودند. آنالیز داده‌ها و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Design Expert 10.0.6 صورت پذیرفت. تجزیه واریانس برای ارزیابی اثرات معنی‌دار متغیرهای فرایند بر هریک از پاسخ‌ها انجام شد. با انجام آنالیز رگرسیون چندمتغیره، مدل‌های مختلف بر اساس R^2 پیش بینی شده و R^2 اصلاح شده مقایسه شد، به‌صورتی که مدلی که دارای بیشترین مقادیر این فاکتورها باشد دارای دقت بیشتری خواهد بود. آنالیز واریانس برای تعیین عدم برازش و معنی‌دار بودن اثرات خطی، درجه دوم و برهمکنش متغیرهای مستقل بر متغیرهای وابسته نیز صورت گرفت. اگر مقدار P برای آزمون عدم برازش در ANOVA بزرگتر مساوی 0/05 بود به معنای کافی بودن مدل برای پیش‌بینی پاسخ مورد نظر بود (Seyedabadi *et al*., 2016).

نتایج و بحث

مدت زمان رفع انجماد

همانطور که در شکل 2 ملاحظه می‌گردد توان منبع تابش، دما و سرعت گردش هوا اثر معنی‌داری ($P<0.05$) بر مدت زمان رفع انجماد داشته است. تغییرات دمای گوشت مرغ چرخ شده منجمد در طول فرایند رفع انجماد هر یک ثانیه ثبت گردید. در ابتدا دما از 20- تا 7^{oC}- با سرعت زیادی افزایش یافت سپس بیشترین زمان رفع انجماد مربوط به افزایش دما از 7- تا 1^{oC} بود. با افزایش اثر متقابل توان دستگاه از 12/27 به 247/73 وات و دما از 27/57 به 49/43 درجه سانتی‌گراد (شکل 2- الف) و همچنین اثر متقابل سرعت گردش هوا از0/21 به 7/47 متر بر ثانیه و دما از 27/57 به 49/43 درجه سانتی‌گراد (شکل 2- ب) مدت زمان رفع انجماد از 13/5 به 6/8 دقیقه کاهش یافت. سرعت فرایند رفع انجماد با توجه به تغییر فاز جامد به مایع در طول زمان کاهش پیدا می‌کند هرچه میزان آب آزاد نمونه منجمد بیشتر باشد مدت زمان رفع انجماد طولانی‌تر خواهد بود (Li *et al*., 2014). در توان، دما و سرعت گردش هوای کم میزان افت ناشی از رفع انجماد بیشتر و مدت زمان رفع انجماد هم افزایش پیدا کرده و 13/5 دقیقه بوده است. علاوه بر این طبق گزارش پن و همکاران (2010) میزان جذب تشعشع مادون قرمز توسط یخ و آب تقریبا با هم برابر است. این بدان معنا می‌باشد که تغییر فاز در طول رفع انجماد با تشعشع مادون قرمز زمان کمتری نسبت به سایر امواج الکترومغناطیس به همراه خواهد داشت. که طبق بررسی و تفسیر داده‌های مربوط به مدت زمان رفع انجماد در این پژوهش مشاهده شد تغییر فاز زمان زیادی از فرایند را شامل نشده است. این در حالی است که در طول رفع انجماد با امواج مایکروویو و یا امواج رادیویی در اکثر مواد غذایی به علت دو قطبی دائمی بودن آب می‌تواند زمانی که تحت تاثیر امواج الکترومغناطیس قرار گرفته به سرعت افزایش جنبش مولکولی داشته باشد. این ویژگی آب علاوه بر اینکه باعث کوتاه شدن مدت زمان رفع انجماد می‌شود سبب پخت ناگهانی محصول نیز می‌شود که یکی از مشکلات فرایند رفع انجماد می‌باشد (Rosenthal, 2012). درصورتی که این مشکل در تشعشع مادون قرمز وجود نداشته است. فاراگ و همکاران (2009) به‌منظور رفع انجماد گوشت گاو چرخ شده با ضخامت1/2 سانتی‌متر از امواج رادیویی استفاده کردند و مدت زمان رفع انجماد را حدود 8/5 دقیقه گزارش کردند. با توجه به این که گوشت گاو قبل از شروع فرایند انجماد چربی‌گیری شده و در سرعت مناسب منجمد شده است. در نتیجه بیشترین سهم زمان رفع انجماد مربوط به نوع تکنولوژی رفع انجماد می‌باشد این در مقایسه با روش ترکیبی به‌کاربرده شده در این پژوهش با در نظر گرفتن آنکه ضخامت گوشت مرغ مورد استفاده حدود 4 برابر گوشت گاو بررسی شده است و بیشترین زمان رفع انجماد گوشت مرغ چرخ شده 13/5 دقیقه می‌باشد، اختلاف قابل توجهی است. معادله 5 مدل پیشنهادی برای این پاسخ به صورت چند جمله‌ای درجه دوم و با $R^2 =0/97$ارائه شده است و مقدار P برای آزمون فقدان برازش بزرگتر 0/05 (0/4837) بود. در تمامی معادلات آورده شده P توان تشعشع مادون قرمز، T دمای هوا و V سرعت گردش هوای گرم می‌باشد.

$$\text{Thawing time} =+6.782+0.0325P+0.1522\ T+1.7565V-0.0013\ P\ T-0.0273\ T\ V-0.09716V^2 \qquad (5)$$



ب الف

شکل 2- اثر توان منبع تابش، دمای هوا و سرعت گردش هوا بر مدت زمان رفع انجماد

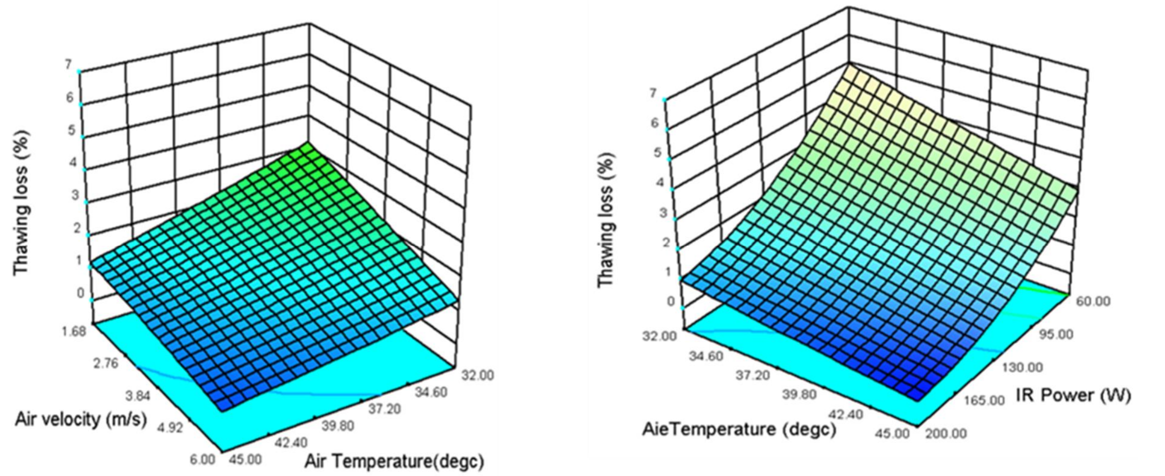
افت ناشی از رفع انجماد

طبق شکل 3 و نتایج آنالیز واریانس و مقایسه میانگین کـل افت ناشی از رفع انجماد نمونه‌ها نشان داد که در همـه تیمارهـا افـزایش توان، دما و سرعت گردش هوا به‌طـور معنـی‌داری ($P<0.05$) باعـث کاهش افت ناشی از رفع انجماد از 6/1 به 0/03% شده است همچنین اثر متقابل دمای هوا و توان منبع تابش طبق شکل 3-الـف کمتـرین تاثیر را در افزایش افت ناشی از رفع انجماد نسبت به اثر متقابل دمای هوا و سرعت گردش هوا طبق شکل 3-ب دارد. میزان افت ناشـی از رفع انجماد وابسته به مقدار آب آزاد و باند شده، درصد چربی نمونـه، مکان و سایز کریستال‌های یخ تشکیل شده است. هرچه مدت زمـان رفع انجماد طولانی‌تر باشد کریستال‌های یخ فرصت بیشتری را برای آسیب به دیواره سلولی دارند و افت ناشی از رفع انجمـاد هـم بیشـتر خواهد شد (Alizadeh *et al*., 2007). به‌طور کلـی بخشـی از افـت ناشی از رفع انجماد وابسته به نوع فرایند انجماد و بخشی دیگر وابسته به رفع انجماد می‌باشد. انجماد محصول بایـد در کوتـاه‌تـرین زمـان ممکن صورت گیرد. در چنین شرایطی انجماد در داخل و خارج سلول به‌صورت یکنواخت انجام گرفته، و مایع درون سلول بـه علـت فشـار اسمزی از آن خارج نمی‌شود در نتیجه افت مواد مغذی در طول رفـع انجماد کمتر صورت می‌گیرد. با توجه به اینکه میزان ترکیبات جامـد محلول در مایع بین سلولی کمتر می‌باشد رفع انجماد در ایـن بخـش سریع تر حاصل می‌شود و در صورت کند بودن رفع انجمـاد در بـازه زمانی که اجزای جامد داخل سلولی رفع انجماد می‌شود مواد محلـول در مایع بین سلولی از محصول خارج شده و افت ناشی از رفع انجماد افزایش می‌یابد (Knorr *et al*., 2011). در این پژوهش توان دستگاه از 12/27 به 247/73 وات، دما از 27/57 به 49/43 درجه سانتی‌گراد و سرعت گردش هوا از0/21 به 7/47 متر بر ثانیه افزایش یافت و این امر سـبب کـاهش مـدت زمـان رفـع انجمـاد مـی‌باشـد. در نتیجـه کریستال‌های یخ در طول رفع انجماد به سرعت تغییـر حالـت داده و زمان کافی برای آسیب به دیواره سلولی ندارند. همچنین فاصله زمانی رفع انجماد مواد داخل سلول و بین سلول کم بوده افت مـواد مغـذی همراه با افت ناشی از رفع انجماد کـاهش مـی‌یابـد. طبـق معادلـه 6 بیشترین مقدار R^2 برای مدل چند جمله‌ای درجه دوم 94% بوده است که نشان می‌دهد این مدل توانایی پیش‌گویی تا 94% افـت ناشـی از رفع انجماد را دارد و مقدار P برای آزمـون فقـدان بـرازش بزرگتـر از 0/05 (0/8106) بود. در معادله 6 اثر خطی افزایش سرعت گردش هوا در کاهش افت ناشی از رفع انجماد بیشتر از دمای هوا و تـوان منبـع تابش است.

$$\text{Thawing loss} = 20.41070 - 0.089159\,P - 0.33647\,T - 1.13534\,V + 0.006018\,P\,T + 0.019500\,VT \quad (6)$$

هانگ و همکاران گزارش کردند طی رفع انجماد گوشت خوک با افزایش توان لامپ از 47 بـه 229 وات، افـت ناشـی از رفـع انجمـاد کاهش یافته اما درصد این افت تغییرات معنی داری در طول افزایش توان نداشته است و از 4 به 3 درصـدکاهش یافتـه اسـت (Hong *et al*., 2009). با استفاده از روش ترکیبی در این پژوهش افت ناشی از رفع انجماد به مقدار معنی‌داری با افزایش توان منبع تابش و دمای هوا

کاهش یافته است. افزایش دمای هوا کمک به تسریع رفع انجماد نمود و از افزایش آسیب بافتی در طول رفع انجماد و در نتیجه افزایش افت ناشی از رفع انجماد جلوگیری می‌کند.



ب الف

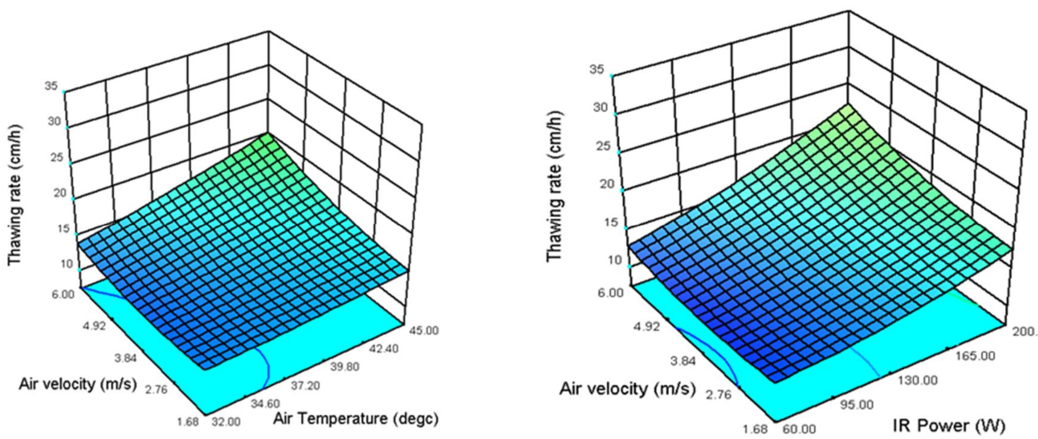
شکل 3- اثر توان منبع تابش، دمای هوا و سرعت گردش هوا بر افت ناشی از رفع انجماد

سرعت رفع انجماد

طبق شکل 4 و بررسی نتایج آنالیز واریانس و مقایسه میانگین سرعت رفع انجماد، تیمارهای مختلف رفع انجماد نشان دادند که اثر سطوح مختلف پارامترهای توان منبع تابش، دمای هوا و سرعت گردش هوا معنی‌دار است، همچنین اثر متقابل سرعت گردش هوا و توان منبع تابش (شکل 4- الف) نسبت به اثر متقابل دما و سرعت گردش هوا (شکل 4- ب) بیشتر باعث افزایش سرعت رفع انجماد شد. افزایش سرعت گردش هوا نسبت به افزایش توان منبع تابش و دمای هوا تاثیر مثبتی بر سرعت رفع انجماد نداشته است. بیشترین و کمترین سرعت رفع انجماد 30/674 cm/h و 11/111 بود که به‌ترتیب مربوط به تیمارهای 200w، 45ºC، 6 m/s و 12/27w، 38/50ºC، 3/84 m/s است. هرچه مدت زمان رفع انجماد کمتر باشد سرعت رفع انجماد بیشتر خواهد شد. در تیمار 200w، 45ºC، 6 m/s زمان رفع انجماد 4/89 دقیقه بوده که نسبت به سایر تیمارها کمترین زمان می‌باشد به همین علت سرعت رفع انجماد بیشتر را دارا می‌باشد. سرعت رفع انجماد تاثیر مستقیم بر مقدار افت ناشی از رفع انجماد می‌گذارد (James *et al.*, 2009) و همچنین یکی از شاخص‌های مهم ارزیابی روش‌های رفع انجماد می‌باشد زیرا توصیفی بر مقدار محصولی است که در هر ساعت یک دستگاه توانایی رفع انجماد آن را خواهد داشت (Hong *et al.*, 2009). بر اساس نتایج به‌دست آمده از معادله 7 بیشترین مقدار R^2 برای مدل چند جمله‌ای درجه دوم برابر 90% بود که نشان می‌دهد مدل 90% قابلیت پیشگویی مقدار سرعت رفع انجماد را دارد و مقدار P برای آزمون فقدان برازش بزرگتر 0/05 (0/3337) بود. همچنین توان منبع تابش بیشترین تاثیر خطی را بر افزایش سرعت رفع انجماد داشت.

$$\text{Thawing rate} = 47.79554 - 0.20736P - 1.04083\,T - 5.30906\,V + 0.004842\,P\,T + 0.0078422\,PV + 0.087661TV \quad (7)$$

وایو و همکاران (2010) سرعت رفع انجماد گوشت خوک را با چهار روش رفع انجماد شامل هوای 8، هوای 23 ºC، آب 24 ºC و آب 32 ºC مورد ارزیابی قرار دادند و به ترتیب سرعت رفع انجماد را 0/65، 0/89، 3/16 و 5/22 سانتی‌متر بر ساعت گزارش کردند (Yu *et al.*, 2010). هانگ و همکاران (2009) سرعت رفع انجماد گوشت خوک به روش تشعشع مادون قرمز با توان 47- 229 وات را بررسی کرده و در محدوده 15 cm/h گزارش نمودند (Hong *et al.*, 2009). سرعت رفع انجماد دستگاه ترکیبی تشعشع مادون قرمز- هوای گرم با توجه به آنالیز واریانس در مقایسه با روش سنتی رفع انجماد که آب گرم/ سرد و هوای گرم/ سرد است سرعت بسیار بالاتری را داشته. همچنین در مقایسه با روش تشعشع مادون قرمز- گردش هوا کارآمدتر بوده است.



الف ب

شکل 4- اثر توان منبع تابش، دمای هوا و سرعت گردش هوا بر سرعت رفع انجماد

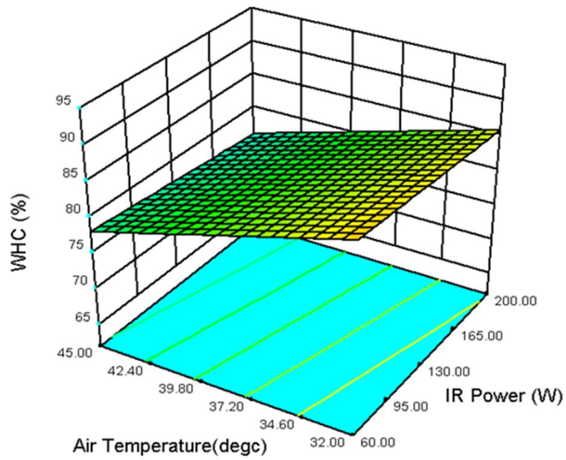
ظرفیت نگهداری آب

طبق شکل 5 و معادله 8 می‌توان دریافت اثر منفی دمای محفظه برکاهش میزان ظرفیت نگهداری آب نسبت به سایر متغییرهای مستقل موثرتر می‌باشد. هرچه میزان دمای هوا کاهش پیدا کند و سرعت گردش هوا و توان منبع تابش افزایش یابد میزان ظرفیت نگهداری آب گوشت مرغ چرخ شده بیشتر می‌شود. میزان ظرفیت نگهداری آب گوشت به ساختار میوفیبریل پروتئین‌ها و به‌طور ویژه به میوبین وابسته است. اکسیداسیون و تغییرات بر استحکام میوفیبریل‌ها اثر می‌گذارد و باعث از دست دادن آب درون بافتی گوشت می‌شود (Ali *et al.*, 2015). افزایش دما سبب آسیب به ساختار سلولی شده و دیواره سلولی ضعیف می‌گردد به همین علت پس از رفع انجماد هنگامی که محصول برای فرایندهای بعدی آماده می‌شود توانایی نگهداری آب درون سلولی میان میوفیبریل‌ها را نداشته و ظرفیت نگهداری آب کاهش می‌یابد. در صورتی که تشعشع مادون قرمز- هوای گرم به‌صورت ترکیبی استفاده شود درجه حرارت زیاد و طولانی مدت به‌منظور رفع انجماد نیاز نمی‌باشد این امر مانع دناتوره شدن پروتئین‌ها و در هم شکستن ساختار طبیعی میوفیبریل‌ها می‌شود در نتیجه محصول توانایی حفظ آب درون سلولی را از دست نخواهد داد. توانایی نگهداری آب تاثیر چشمگیری بر خصوصیات کیفی گوشت پس از رفع انجماد دارد و در انتخاب نوع فرایند رفع انجماد در صنعت به ظرفیت نگهداری آب گوشت توجه بیشتری می‌شود (Otto *et al.*, 2006). بررسی نتایج آنالیز واریانس و مقایسه میانگین نمونه‌ها نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین تغییرات توان منبع تابش و سرعت گردش هوا بر روی میزان ظرفیت نگهداری آب وجود ندارد. ولی افزایش دمای محفظه سبب تغییر معنی‌دار ($P<0.05$) میزان ظرفیت نگهداری آب در دامنه96/32% –69/895% شده است که به‌ترتیب مربوط به تیمارهای 130w، 49/43 °C، 3/84 m/s و 200 w، 32 °C، 6 m/s می‌باشد. بر اساس نتایج به‌دست آمده بیش‌ترین مقدار R^2 برای مدل خطی 73% و مقدار P برای آزمون فقدان برازش بزرگتر 0/05 (0/257) بود. معادله 8 تاثیر متغیرهای توان منبع تابش، دمای هوا و سرعت گردش هوا را بر میزان ظرفیت نگهداری آب گوشت مرغ چرخ شده نشان می‌دهد.

$$\text{Water holding capacity (WHC)} = 105.85442 - 0.0097515\,P - 0.59019\,T + 0.16604\,V \quad (8)$$

علی و همکاران (2015) میزان ظرفیت نگهداری آب گوشت سینه مرغ را پس از رفع انجماد در یخچال 4 °C در دامنه 58/8–50% گزارش کردند. هانگ و همکاران (2009) به‌منظور رفع انجماد گوشت خوک در توان 47 وات تشعشع مادون قرمز و سرعت گردش هوا صفر و 6 متر بر ثانیه افت معنی‌داری از ظرفیت نگهداری آب گوشت را در دامنه 86-82% مشاهده کردند که این امر موجب می‌شود با افزایش توان تشعشع مادون قرمز در طول رفع انجماد نمونه حجم زیادی از آب آزاد خود را از دست داده و دچار خشکیدگی سطحی شود. استفاده از دمای هوای گرم در ترکیب با تشعشع مادون قرمز سبب گرم شدن محفظه و سرعت بخشیدن به فرایند رفع انجماد در توان‌های بالا

می‌شود. به علت اینکه نمونه مدت زمان کمی را تحت تابش قرار می‌گیرد خشکیدگی سطحی نیز در توان‌های بالا اتفاق نمی‌افتد.



شکل 5- اثر توان منبع تابش، دمای هوا و سرعت گردش هوا بر ظرفیت نگهداری آب

pH

این شاخص در صورتی که پس از رفع انجماد محصول خروج ترکیبات اسیدی کمتر باشد تمایل دارد نسبت به نمونه تازه کمتر باشد. pH در واقع میزان یون آزاد هیدروژن را نشان می‌دهد. هرچه میزان افت ناشی از رفع انجماد بیشتر باشد و اسید چرب بیشتری از نمونه خارج شود کاهش می‌یابد و همچنین اگر مدت زمان رفع انجماد طولانی باشد که منجربه افزایش فعالیت آنزیمی و میکروبی شود باعث تغییر pH گوشت مرغ چرخ شده رفع انجماد شده نسبت به تازه آن می‌شود. با توجه به بررسی‌های انجام شده بر آنالیز واریانس و مقایسه میانگین نشان داده شد که سطوح مختلف پارامترهای توان منبع تابش، دمای هوا و سرعت گردش هوا تاثیری بر میزان pH رفع انجماد تمونه نداشته است. علی و همکاران (2015) برای رفع انجماد تیکه‌های گوشت مرغ از دمای 4 ^{o}C استفاده نمودند و تغییرات pH را در دامنه 5/79 –5/49 گزارش کردند که اختلاف معنی داری با نمونه تازه نداشته است (Ali *et al.*, 2015) که مشابه با داده‌های این پژوهش بوده است. هیسه و همکاران (2010) با استفاده از میدان الکترواستاتیک با ولتاژ بالا و یخچال 4 ^{o}C رفع انجماد گوشت مرغ منجمد را مورد بررسی قرار دانـد و pH را در دامنه 5/77 –5/56 با روش یخچال گزارش کردند که این روش موجب تغییر معنی‌داری در pH گوشت مرغ در طول رفع انجماد نشده است (Hsieh et al., 2010). Jo و همکاران (2014) رفع انجماد گوشت گاو را در دمای هوای 5 ^{o}C مورد بررسی قرار دادند و اختلاف معنی‌داری در تغییرات pH طی رفع انجماد مشاهده نکردند. Yu و همکاران (2005) رفع انجماد گوشت ران و سینه مرغ را در دمای 18 ^{o}C مورد بررسی قرار دادند و اختلاف معنی‌داری در میزان تغییرات pH مشاهده نکردند. با توجه به این که استفاده از روش‌های سنتی به‌عنوان شاهد در فرایندهای نوین مورد استفاده قرار می‌گیرد. مطالعات مختلف نشان داده است روش‌های سنتی سبب کمترین تغییرات pH در نمونه می‌شود. از مقایسه این روش‌ها با مطالعات این پژوهش می‌توان دریافت تغییرات حرارتی و تشعشع مادون قرمز آسیبی به ساختار درون سلولی وارد نکرده و افت ترکیبات میان بافتی در حداقل مقدار خود بوده که منجربه تغییرات pH نسبت به نمونه شاهد نشده است.

ارزیابی رنگ

تجزیه آماری نشان داد که بین نمونه‌های رفع انجماد شده از نظر رنگ تفاوت معنی‌داری وجود ندارد ($P>0.05$). استفاده از تشعشع مادون قرمز به مدت طولانی به‌منظور رفع انجماد سبب افت قابل توجهی از آب محصول شده که در نتیجه سبب سوختگی یا خشکی سطحی می‌شود. در این پژوهش ترکیب هوای گرم و گردش هوا سبب شد تا نمونه‌ها به مدت طولانی در معرض تابش قرار نگرفته و دچار تیرگی سطحی نشوند. علیزاده و همکاران (2007) رفع انجماد ماهی سالمون را در دو روش ابتدا دمای 20^{o}C مورد بررسی قرار دادند و میزان اختلاف روشنایی را 11/52 و سپس در فشار 200 مگاپاسکال رفع انجماد را انجام دادند و اختلاف روشنایی را 7/75 گزارش کردند. علی و همکاران پس از رفع انجماد گوشت مرغ تکه‌ای در دمای هوای 4 ^{o}C تغییرات پارامترهای L از 43/30 به 46/6 افزایش، a از 2/14 به 2/72 کاهش و b از 6/37 به 4/17 کاهش گزارش نمودند.

بهینه‌یابی پارامترهای فرایند

شرایط بهینه رفع انجماد گوشت مرغ چرخ شده به‌منظور رسیدن به حداقل مدت زمان رفع انجماد، افت ناشی از رفع انجماد و تغییرات رنگ و تغییرات pH و حداکثر سرعت رفع انجماد و ظرفیت نگهداری

آب مورد بررسی قرار گرفت. شاخص‌ها و محدوده‌های مـورد بررسـی برای بهینه‌سازی در جدول 2 آورده شده است. در نقطه بهینه شـرایط فرایند به‌صورت توان منبع تابش w 247/73، دمای هوا ^{o}C 38/97 و سرعت گردش هوا m/s 6/75 بوده اسـت همچنـین در نقطـه بهینـه مقادیر به‌دست آمده برای هر یک از پاسخ‌ها به‌صورت مدت زمان رفع انجماد4/40 دقیقه، افت ناشی از رفـع انجمـاد 0/03%، سـرعت رفـع انجماد cm/h 30/127، ظرفیت نگهـداری آب 88/392%، pH 5/9 و اختلاف رنگ 7/94 به‌دست آمد و مقـدار تـابع مطلوبیـت 79% بـوده است.

جدول 2- شاخص‌ها و محدوده‌های بهینه سازی در رفع انجماد ترکیبی تشعشع مادون قرمز- هوای گرم

متغییر/ پاسخ	هدف	حد پایین	حد بالا	درجه اهمیت
توان منبع تابش (w)	داخل محدوده	12/27	247/73	-
دمای هوا (°C)	داخل محدوده	27/57	49/43	-
سرعت گردش هوا ($\frac{m}{s}$)	داخل محدوده	0/21	7/47	-
مدت زمان رفع انجماد(min)	حداقل	4/89	13/5	++++
افت ناشی از رفع انجماد(٪)	حداقل	0/03	6/1	++++
سرعت رفع انجماد (cm/h)	حداکثر	11/11	30/67	++++
ظرفیت نگهداری آب(٪)	حداکثر	69/89	99/59	++++
pH	داخل محدوده	5/73	6/02	++++
اختلاف رنگ	حداقل	2/13	7/94	++++

نتیجه‌گیری

استفاده از روش ترکیبی تشعشع مادون قرمز- هوای گرم به‌منظور رفع انجماد گوشت مرغ چرخ شده سبب افزایش حفظ کیفیت محصول شده است. با افزایش توان منبـع تـابش و دمـای محفظـه و سـرعت گردش هوا تا یک مرز مشخص شده در نقطه بهینـه باعـث کـاهش زمان و افت ناشی از رفع انجمـاد و افـزایش سـرعت رفـع انجمـاد و ظرفیت نگهداری آب محصول شده است در حالی که تغییری در رنگ و pH دیده نشده است. این روش جدید قابلیت پوشش‌دهـی مسـائل مورد بحث در رفع انجماد را داشته است، همچنین این روش نسبت به سایر روش‌ها که تا به امروز مورد بحث بوده است هزینه راه اندازی و آماده سازی کمتری را به همراه دارد.

منابع

Aghajanzadeh, S., Kashaninejad, M. and Ziaiifar, A.M., 2016. Effect of infrared heating on degradation kinetics of key lime juice physicochemical properties. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *38(1)*, 139-148.

Ali, S., Zhang, W., Rajput, N., Khan, M.A., Li, C.B. and Zhou, G.H., 2015. Effect of multiple freeze–thaw cycles on the quality of chicken breast meat. *Food chemistry*, *173*, 808-814.

Alizadeh, E., Chapleau, N., De Lamballerie, M. and LeBail, A., 2007. Effects of freezing and thawing processes on the quality of Atlantic salmon (*Salmo salar*) fillets. *Journal of food science*, *72*(5), 279-284.

Bagheri, H., Kashaninejad, M., Ziaiifar, A.M. and Aalami, M., 2016. Novel hybridized infrared-hot air method for roasting of peanut kernels. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *37(1)*, 106-114.

Boonsumrej, S., Chaiwanichsiri, S., Tantratian, S., Suzuki, T. and Takai, R., 2007. Effects of freezing and thawing on the quality changes of tiger shrimp (*Penaeus monodon*) frozen by air-blast and cryogenic freezing. *Journal of Food Engineering*, *80*(1), 292-299.

Campañone, L.A. and Zaritzky, N.E., 2010. Mathematical modeling and simulation of microwave thawing of large solid foods under different operating conditions. *Food and Bioprocess Technology*, *3*(6), 813-825.

Chan, J.T., Omana, D.A. and Betti, M., 2011. Effect of ultimate pH and freezing on the biochemical properties of proteins in turkey breast meat. *Food Chemistry*, *127*(1), 109-117.

Farag, K.W., Duggan, E., Morgan, D.J., Cronin, D.A. and Lyng, J.G., 2009. A comparison of conventional and radio frequency defrosting of lean beef meats: Effects on water binding characteristics. *Meat science*, *83*(2), 278-284.

Farag, K.W., Lyng, J.G., Morgan, D.J. and Cronin, D.A., 2011. A comparison of conventional and radio frequency thawing of beef meats: effects on product temperature distribution. *Food and Bioprocess Technology*, *4*(7), 1128-1136.

Hong, G.P., Shim, K.B., Choi, M.J. and Min, S.G., 2009. Effects of air blast thawing combined with infrared radiation on physical properties of pork. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, *29*(3), 302-309.

Hsieh, C.W., Lai, C.H., Ho, W.J., Huang, S.C. and Ko, W.C., 2010. Effect of Thawing and Cold Storage on Frozen Chicken Thigh Meat Quality by High-Voltage Electrostatic Field. *Journal of food science*, *75*(4), 193-197.

Icier, F., Izzetoglu, G.T., Bozkurt, H. and Ober, A., 2010. Effects of ohmic thawing on histological and textural properties of beef cuts. *Journal of Food Engineering*, *99*(3), 360-365.

James, C., Ketteringham, L., Palpacelli, S. and James, S., 2009. Prediction of heat transfer during food chilling, freezing, thawing, and distribution. In *Predictive Modeling and RiskAssessment*, 4(1), 55-78.

Jo, Y.J., Jang, M.Y., Jung, Y.K., Kim, J.H., Sim, J.B., Chun, J.Y., Yoo, S.M., Han, G.J. and Min, S.G., 2014. Effect of novel quick freezing techniques combined with different thawing processes on beef quality. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, *34*(6), 777-783.

Knorr, D., Froehling, A., Jaeger, H., Reineke, K., Schlueter, O. and Schoessler, K., 2011. Emerging technologies in food processing. *Annual review of food science and technology*, *2*, 203-235.

Otto, G., Roehe, R., Looft, H., Thoelking, L., Henning, M., Plastow, G.S. and Kalm, E., 2006. Drip loss of case-ready meat and of premium cuts and their associations with earlier measured sample drip loss, meat quality and carcass traits in pigs. *Meat science*, *72*(4), 680-687.

Pan, Z. and Atungulu, G.G. eds., 2010. *Infrared heating for food and agricultural processing*. CRC Press.

Raji, A.O., Akinoso, R. and Raji, M.O., 2016. Effect of freeze–thaw cycles on the nutritional quality of some selected Nigerian soups. *Food science & nutrition*, *4*(2), 163-180.

Rosenthal, I., 2012. *Electromagnetic radiations in food science* .Springer Science & Business Media,19.

Salehi, F., Kashaninejad, M., Asadi, F. and Najafi, A., 2016. Improvement of quality attributes of sponge cake using infrared dried button mushroom. *Journal of food science and technology*, *53*(3), 1418-1423.

Seyedabadi, M.M., Kashaninejad, M., Mahoonak, A.R. and Maghsoudlou, Y., 2016. Effect of ultrafiltration process on quality characteristics of sour orange juice. *Journal of Food Science & Technology*, *13*(52), 121-131.

Taher, B.J. and Farid, M.M., 2001. Cyclic microwave thawing of frozen meat: experimental and theoretical investigation. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, *40*(4), 379-389.

Wang, H., Luo, Y., Shi, C. and Shen, H., 2015. Effect of different thawing methods and multiple freeze-thaw cycles on the quality of common carp (*Cyprinus carpio*). *Journal of aquatic food product technology*, *24*(2), 153-162.

Xia, X., Kong, B., Liu, J., Diao, X. and Liu, Q., 2012. Influence of different thawing methods on physicochemical changes and protein oxidation of porcine longissimus muscle. *LWT-Food Science and Technology*, *46*(1), 280-286.

Yu, L.H., Lee, E.S., Jeong, J.Y., Paik, H.D., Choi, J.H. and Kim, C.J., 2005. Effects of thawing temperature on the physicochemical properties of pre-rigor frozen chicken breast and leg muscles. *Meat science*, *71*(2), 375-382.

Yu, X.L., Li, X.B., Zhao, L., Xu, X.L., Ma, H.J., Zhou, G.H. and Boles, J.A., 2010. Effects of different freezing rates and thawing rates on the manufacturing properties and structure of pork. *Journal of muscle foods*, *21*(2), 177-196.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 14, No. 4, Oct- Nov 2018, p. 461-472

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 14، شماره 4، مهر- آبان 1397، ص. 472-461

Optimization of thawing of ground chicken by infrared radiation- warm air method using response surface methodology

M. Davoodi[a], M. Kashaninejad[a*], A. M. Ziaiifar[a], M. Ghorbani[b]

Received: 2017.02.21
Accepted: 2017.09.17

Introduction: There are many methods for freezing and thawing of meat. Suitable technology must be applied for freezing and thawing of chicken to keep the quality of product effectively. Novel methods including high pressure, ohmic heating and high-voltage electrostatic field have been recently considered for thawing process. IR heating provides positive advantages compared to conventional heating such as reduced quality losses, shorten heating time, significant energy saving and uniform heating. Although IR has been used for various food treatments but a few researches have been reported for its application in thawing process. This study investigates the effects of this new method on thawing time, thawing loss, thawing rate, water holding capacity, color, pH, shear force, characteristics of frozen ground chicken and also optimizes the thawing conditions using response surface method.

Material and methods: Fresh chicken breast was purchased from a local market (Gorgan, Iran). After washing and mincing, they were cut into a cube form (3×3×5 cm3) and stored in the freezer at -20 °C for 5 days before thawing process. Thawing was performed using an IR-warm air apparatus consisted of IR lamp (Far IR 1500 watts), heating elements (4 electrical elements with power 750 W), air velocity unit, centrifugal fan and thawing chamber. For thawing of samples, three variables including IR power (12.27- 247.73 W), air temperature (27.57- 49.43°C) and air velocity (0.21- 7.47 m/s) were applied. The central composite rotatable design was created by entering the three independent variables at five different levels in 20 runs with six central points. Response surface analysis was performed using Design-Expert software. The equipment was allowed to work at least 10 min to stabilize the specified conditions before the start of each thawing run. Frozen sample was then removed from freezer and placed under the infrared lamp with 12 cm distance. Quality of ground chicken breast was determined by thawing time, thawing loss, thawing rate, water holding capacity, pH and color indices.

Results and Discussion: The methodology and techniques used in freezing and thawing processes play an important role in the preservation the quality of frozen foods. The results showed that increasing IR power, air temperature and air velocity decreased the thawing time (13.5–6.8 min), thawing loss (6.1–0.03 %) and increased thawing rate (11.11-30.67 cm/h), WHC (65.45–94.16 %) and improved the quality characteristics of thawed ground chicken. Generally, the ability of meat to retain free or bound water is one of the important quality characteristic of raw meat. One of the most important indicators of quality on thawing food is water holding capacity. The final pH is dependent on the amount of drip loss between the stocky and tenuous filaments. In addition, the difference in pH can be due to texture damage. Generally, the pH of chicken breast after postmortem is about 5.6- 5.8. The ΔE values and pH of the ground chicken breast was also in the same range during thawing process. Numerical optimization conditions were investigated based on the lowest thawing time, thawing loss and highest thawing rate and water holding capacity. The best suggested condition by the software was IR power 247.73 W, air temperature 38.97°C and air velocity 6.75 m/s (desirability= 0.79). Based on the obtained result using T-test analysis, there was no considerable difference between the experimental values and the predicted one (P<0.05). The results revealed that application of IR-warm air method for thawing of ground chicken breast is a promising technique to increase the quality attributes of product.

Key words: Ground Chicken, Infrared Radiation, Quality Characteristics, Thawing, Warm Air

a. Department of Food Process Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Basij Square, Gorgan, Iran
b. Department of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Basij Square, Gorgan , Iran
(Corresponding author, E-mail address: kashani@gau.ac.ir)